

e-CA(e-Consequence Analysis)를 활용한 위험설비의 비용 분석에 관한 연구 : 강관제조업 사례를 중심으로

권혁민* · 황용우**† · 이익모* · 천영우* · 최영훈*
*인하대학교 환경·안전융합대학원 · **인하대학교 환경안전융합전공

A Study on the Cost Analysis of risk facilities using e-Consequence Analysis – Focusing Steel pipe Industry

Hyeok Min Kwon* · Yong Woo Hwang**† · Ik Mo Lee* · Young Woo Chun* · Young Hun Choi*

*Department of Environment and Safety Technology Convergence, Inha University

**Department, of Environmental Engineering, Inha University

Abstract

The steel pipe manufacturing industry deals with facilities and materials. Especially thermal facilities are close to vapor cloud explosion (VCE) and may cause secondary damage to facilities because they deal with corrosive substances such as hydrofluoric acid, sulfuric acid and acid, fire, explosion, leakage etc. It is in danger. In this study, hazard identification method was conducted using HAZOP techniques and quantitative risk analysis was conducted using e-CA, a program that supports accident impact analysis. Equipment in the influence range of ERPG - 3 was determined to be a facility requiring replacement. It was decided that neutralization is necessary using slaked lime. Based on the cost of loss, We presented the proper replacement which is the timing of the dangerous facility. As a result, It was ideal to replace the facilities with 20 years of heat treatment facilities, one year of hydrofluoric acid storage tank, 20 years of sulfuric acid storage tank, and 5 years of hydrochloric acid storage tank.

Keywords : HAZOP, Consequence Analysis, Business Continuity Management, Risk Assessment, Steel pipe Industry, Cost-Benefit Analysis, Risk facilities

1. 서론

1960~1970년대 중화학공업이 급속히 발달하면서 우리나라 비철금속 산업도 함께 발달하였다1). 그 중 비철금속을 바탕으로 성장한 강관제조업은 용접, 열처리, 화학물질 처리 등 다양한 공정을 통해 중공업용, 산업용, 건축용 산업 전반에 필요한 배관을 생산하며 산업 전반에 필요한 물품을 공급하고 있다2).

강관제조업은 유해화학물질을 사용하는 열처리 공정과 산세공정, 화학물질의 저장 및 이송하는 저장탱크

등 다양한 설비를 사용하여 Pipe를 생산하고 있어 사고발생 위험이 높은 산업분야이다.

화학안전정보공유시스템(CSC, Chemistry Safety Clearing-house)의 사고 통계에 따르면 2014년 14건, 2015년 20건, 2016년 40건, 2017년 33건으로 제조업에서 화학물질로 인한 사고가 지속적으로 증가하는 추세이다.

따라서, 본 연구에서는 강관제조업에서 사고발생시 피해가 가장 클 것으로 예상되는 열처리 설비, 화학물질 저장탱크를 대상으로 정성적, 정량적 위험성평가를 실시하여 영향범위 내 설비의 중화처리비용과 손실비용을 파악하고자 한다.

†Corresponding Author : Yong-Woo Hwang, Dept. of Environmental Engineering, INHA UNIVERSITY, 100, inha-ro, Nam-gu, Incheon, MP : 010-8840-8304, E-mail: hwangyw@inha.ac.kr

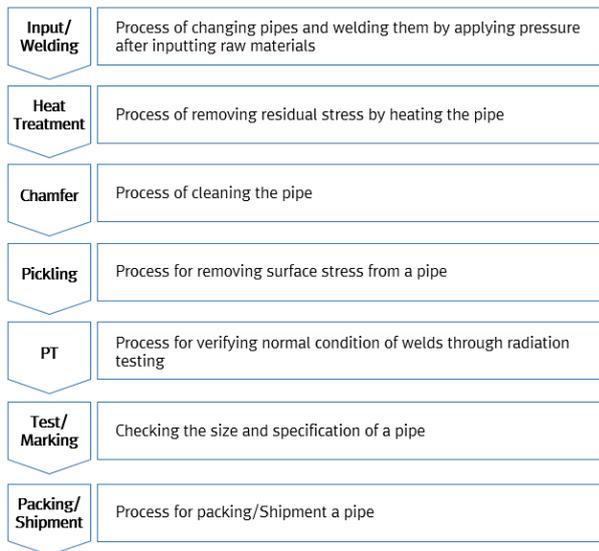
Received Jun. 18, 2018; Revision Received Sept. 21, 2018; Accepted Oct. 02, 2018.

2. 이론적 배경

2.1 강관 제조업

강관 제조업의 공정은 다음 <Figure 1>와 같다. 대표적인 공정은 수입한 Stainless 강관 및 코일을 용접하는 용접 공정, 용접 후 용접잔류응력을 제거하기 위한 열처리 공정, 열처리 후 생성된 산화 피막의 불순물을 제거하기 위한 산세공정이 있다.

열처리 공정은 파이프를 인화성가스인 LNG(액화천연가스)를 이용하여 가열하고, 산세공정은 열처리가 끝난 Pipe를 불산, 황산, 염산 등을 혼합한 산세조에 넣어 피막을 제거하는 공정이다. 이러한 열처리, 산세공정에서 위험물질 사용으로 인한 화재, 폭발, 누출 등 사고 발생 가능성이 높다^{3,4)}.



<Figure 1> Processes of pipe production

2.1.1 장치 및 설비

강관제조업에서 사용되는 장비는 <Table 1>과 같으며, 각각의 단위 설비는 고유의 단위 업무를 수행한다.

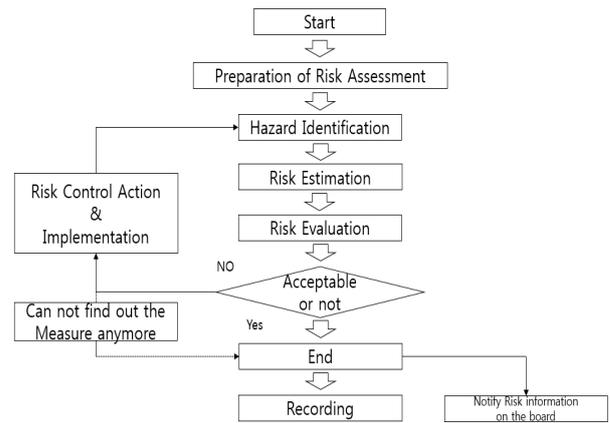
<Table 1> Equipment description

Equipment	Description
Welder	Welding equipment after making the raw material of roll or plate type into the desired shape by using machine equipment
Thermomechanical	Equipment to heat pipes at 1,050 °C using LNG
Acidification	Pipe surface treatment such as hydrofluoric acid, sulfuric acid, acid, equipment

2.2 위험성 평가 기법

위험성 평가란 사업장의 유해·위험설비에 존재하는 위험의 정도를 파악하기 위해 유해·위험설비로부터 발생 가능한 사고의 빈도와 피해영향의 조합이다.

위험성 평가는 크게 정성적 위험성평가와 정량적 위험성 평가로 구분한다. 이러한 위험성평가 평가흐름은 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Process Flow of risk assessment

2.2.1 정성적 위험성 평가

(1) 위험과 운전 분석 기법(HAZOP)

HAZOP(Hazard & Operability)분석은 설계 의도에서 벗어나는 이탈현상을 발굴하고 공정의 위험요소와 운전상의 문제점을 도출하는 방법으로 여러 분야의 전문가를 구성하고 Guide Word를 사용하여 진행한다⁵⁾.

(2) 사고예상 질문 분석 기법(what-if)

사고를 what-if로 시작되는 질문을 사용하여 공정에 존재하는 위험요소를 확인하고, 그 결과 초래할 수 있는 사건의 위험을 줄이는 방법을 도출하는 방법이다⁵⁾.

(3) 체크리스트 기법(Check List)

미리 준비된 기준대조표(Check List)를 활용하여 일반적인 위험요소들의 확인 및 작업 기준절차에 대한 확인을 하는 방법이다⁵⁾.

<Table 2> Criteria for selection of risk assessment techniques

Division		HAZOP	What-if	Checklist	ETA	FTA
Business step	Initial project	●	●	●	●	●
	Detail Design					
Purpose	General understanding of risk	●	●	●	●	●
	analysis of the risks					
	Quantitative Analysis					
Form of Process	Simple, Known	●	●	●	●	●
	Complex, new technology					
	Control, interface					
	Batch processes, operating procedures					

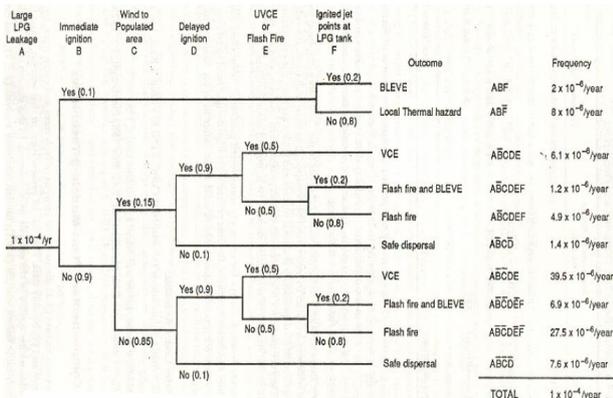
2.2.2 정량적 위험성 평가

(1) 사건수 분석(ETA)

ETA(Event Tree Analysis)는 초기발생을 가정하여, 특정 장치의 이상이나 운전자의 실수로부터 발생하는 잠재적 사고결과를 사건수(Event Tree)로 상관관계 및 확률을 파악하여 정량적인 결과를 얻어내는 귀납적 기법이다5).

(2) 결함수 분석(FTA)

FTA(Fault Tree Analysis) 기법은 특정사고에 대하여 원인을 파악하는 연역적 기법이다. 사건·사고를 초래할 수 있는 장치의 이상과 고장의 다양한 조합을 표시하는 도식적인 결함수를 작성하여 특정사고로부터 원인의 상관관계 및 확률을 도출하는 기법이다. FTA의 예를 <Figure 3>에 나타내었다5).



<Figure 3> FTA Sample

2.3 화학물질 비상시 누출 기준

2.3.1 ERPG

ERPG(Emergency Response Planning Guideline)는 미국 산업위생학회(AIHA)에서 화학물질 누출로 인한 지역사회의 사고대응에 대한 가이드라인으로 ERPG-1, ERPG-2, ERPG-3로 구분된다6).

- ERPG-1 : 아주 가벼운 가역적 증상 이상을 겪지 않거나 심한 냄새를 인지하지 않고 노출될 수 있는 1시간의 최고 농도.

- ERPG-2 : 자기 구조능력을 손상시킬 만한 비가역적 또는 심각한 건강손상이나 증상을 경험하지 않고 노출될 수 있는 1시간의 최고 농도.

- ERPG-3 : 생명에 위협을 주는 건강손상을 겪지 않고 노출될 수 있는 1시간의 최고 농도.

ERPG 값은 8시간 기준에 비해 높게 설정되어 있다. 특히, ERPG-2와 ERPG-3인 경우에는 훨씬 높다.

2.3.2 AEGL

AEGL(Acute Exposure Guideline Level)은 화학물질 누출이나 재난으로 인한 일반 시민의 노출에 대한 가이드라인으로 미국 환경보호청(EPA)에서 개발되었다. ERPG처럼 AEGL-1, AEGL-2, AEGL-3로 구분된다6).

2.3.3 TEEL

TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits)은 U.S. Department of Energy에서 정한 기준으로, 주어진 기간 동안 대부분 사람이 화학물질에 노출되어 건강영향을 겪을 농도의 추정치로, ERPG처럼 TEEL-1, TEEL-2, TEEL-3 로 구분된다6).

2.3.4 ERPG, AEGL, TEEL의 비교

ERPG, AEGL, TEEL의 기준은 개념은 비슷하지만, 각기 다른 기구에서 설정되어 값의 차이가 있다. <Table 1>은 세 가지를 비교한 것이다⁶⁾.

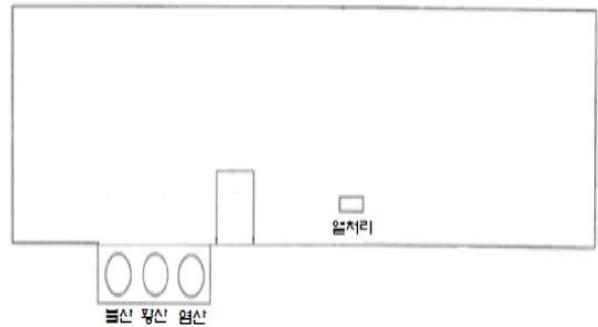
<Table 3> Comparison of leak criteria

Division	ERPG	AEGL	TEEL
Sensitive Individuals	-	Yes	Yes
Publishing Agency	AIHA	EPA	SCAPA
Airborne Concentration	Below	Above	Above
Health Effects	Without	Could	Could
Values Published	145	131	3,387
Release Duration	1hr	10min, 30min, 1hr, 4hr, 8hr	1hr

3. 연구방법

3.1 연구대상

본 연구에서는 강관제조업의 중요 공정인 열처리 공정, 옥외 저장탱크(불산), 옥외 저장탱크(황산), 옥외 저장탱크(염산)를 연구대상으로 선정하였다. 공통적으로 적용되는 사업장은 충청남도에 위치한 가상의 강관제조업 A사로 선정하였으며 사업장의 배치도는 <Figure 4>와 같다.



<Figure 4> The overall plot plan

3.1.1 물질선정

강관제조업에서 취급하는 LNG, 불산, 황산, 염산을 선정하였고, 물질의 물성은 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Equipments and operation conditions

No.	Equipment	Process Conditions				
		Vol (m ³)	Pressure (MPa)	Temperature (°C)	Diameter (mm)	Puddle (m ²)
1	Heating facility	83.2	ATM	1,050	-	-
2	Hydrofluoric Acid Tank	20	ATM	AMB	2,560	70.2
3	Sulfuric Acid Tank	20	ATM	AMB	2,560	70.2
4	Hydrochloric Acid Tank	20	ATM	AMB	2,560	70.2

3.1.2 설비 명세 및 공정 조건

본 연구에서는 열처리 설비, 옥외 저장탱크(불산), 옥외 저장탱크(황산), 옥외 저장탱크(염산)으로 선정하였으며 공정조건은 <Table 5>와 같고, 설비배치도는 <Figure 5>와 <Figure 6>에 나타내었다.

본 연구에서는 단위설비를 설정하여 사고영향 분석 지원 프로그램(e-CA)을 이용하여 HAZOP을 실시하였다.

HAZOP 결과 중 각 설비에서 위험등급이 가장 높은 부분을 선정하여 사고의 강도를 도출하였으며 사고영향범위인 강도를 산정하였다⁷⁾. 마지막으로 직접 피해금액과 간접 피해금액을 산출하였다.

3.2 위험성평가 및 전략 도출

<Table 5> Process condition

Physicochemical characteristic	LNG	Hydrofluoric Acid	Sulfuric Acid	Hydrochloric Acid
Molecular weight (g/mol ⁻¹)	17.12~18.19	20.01	98.08	36.46
Boiling point (°C)	-161.67~-160.44	96	340	42
Flash point (°C)	-188	-36	10	-
Specific gravity	0.7890~0.7976	1.19 (at -45°C)	1.8 (at -45°C)	1.174 (at -45°C)
Auto ignition temperature (°C)	540	-	-	-
Explosion limit (%)	15	-	-	-
	5	-	-	-
Vapor pressure (mmHg)	8.7kPa	68 (@26.7°C)	10.13kPa(146°C)	56.4

3.2.1 강도 분석

(1) 최악의 사고시나리오

연구의 목적에 부합하기 위해 열처리 설비는 LNG 18kg의 증기운 폭발(VCE), 불산·황산·염산 저장탱크 17,850kg의 화학물질이 확산되는 것으로 설정하였다.

(2) 기상조건

장외영향평가 시나리오 조건인 1.5m/s, 25°C, 대기 안정도 F, 습도 50%로 하였다.

(3) 사고시나리오 조건

개시사건은 방호계측분석기법8) 및 CCPS Data Table9)와 KOSHA Guide P-110-201210)를 참조하

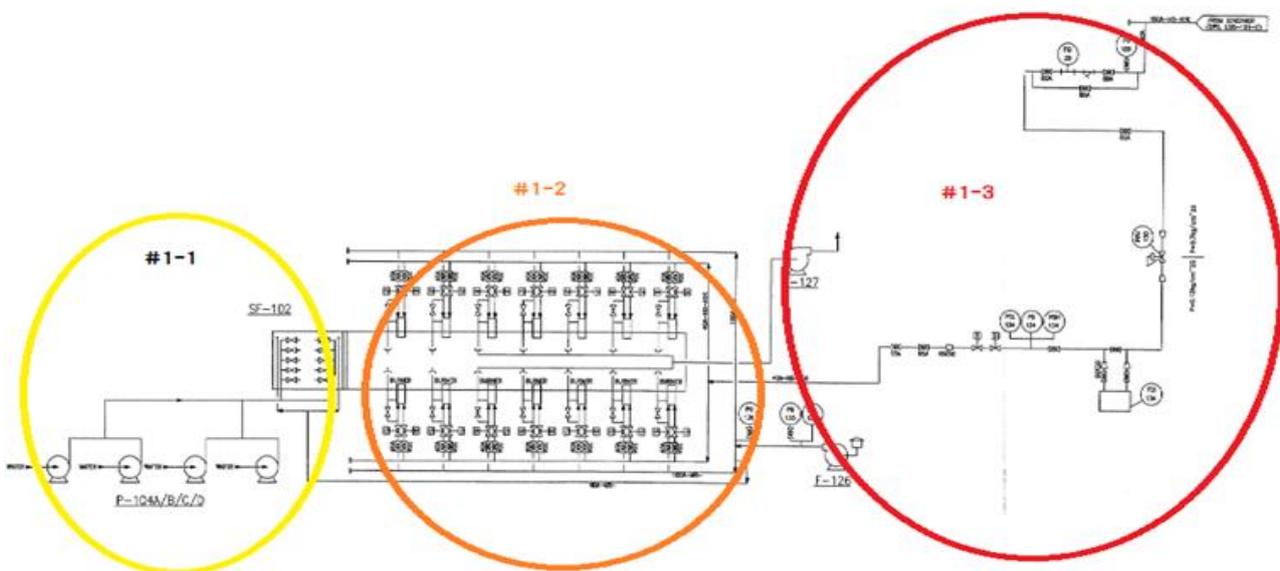
여 추정하였다. 그 결과, 누출공의 크기 산정방법이 최소 20%로 존재하며, 누출 시간은 현실적으로 발생 가능성이 있는 시간으로 적용하고, 근거를 제시해야 한다11).

(4) e-CA 프로그램 Data 입력

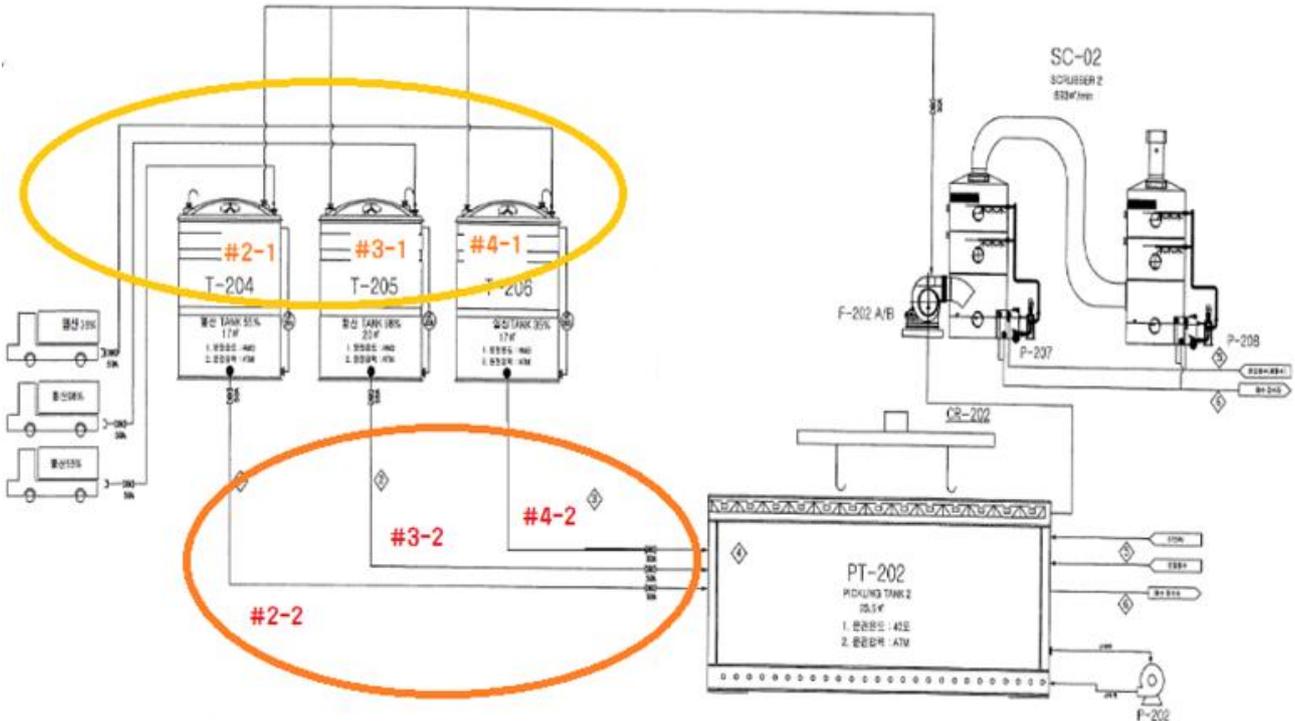
최악의 시나리오를 e-CA 프로그램을 이용하여 Data를 입력 및 분석하였으며 저장탱크의 저장물질, 탱크용량, 운전압력 등의 물성 및 시뮬레이션 구동 요구 인자들을 각각 입력하여 최악의 시나리오를 구동하였다.

(5) 사고 영향범위(과압 강도) 분석

폭발 사고 시 주변 기기에 미치는 영향을 판단할 수 있는 기준은 0.07kgf/cm² (6.9kPa, 1psi)의 과압이 도달하는 거리로 한다. <Table 6>에서 손상영향을 확인한다12).



<Figure 5> Floor plot plan for Heating System



<Figure 6> Floor plot plan for Pickling Process

<Table 6> Effects of Over pressure

Over Pressure kPa	Effects
1	Glass bursting power
2	10% damage on roof and window glass
3	Damaged structure
3.5-7	Leak window, break some windows
5	Damaged construction of houses
7	Partial damage to housing (unrecoverable)
9	The structure is slightly damaged
15	Roof slightly damaged
15-20	Breaking of nonconforming concrete wall
16	Structures severely damaged
18	About 50% damage of housing
20	Damage and separation of building structures
20-28	Damaged buildings and oil storage tanks without support
30	Damaged factory building
35	Breaking a pillar of a tree
35-50	Breaking house
50	Overturned
50-55	Brick wall of thickness 20 to 30 cm collapses
60	Breaking transport vehicle
70	Breaking building

(5) 사고 영향범위(농도) 분석

대기 중으로 확산하는 독성물질의 농도 및 노출시간에 따른 인체에 미치는 영향을 판단하는 기준은 “화학물질 폭로 영향지수 산정에 관한 기술지침(KOSHA Guide)”에서 규정하는 ERPG-2 농도에 도달할 수 있는 거리로 하고 있다6). 하지만 인체에 미치는 영향을 판단하는 기준은 ERPG -2 농도보다 더 보수적인 ERPG-3 농도로 가정하여 확인하였다13).

3.2.2 손실비용 산출

저장탱크, 펌프, 보일러 등의 손상 예상 설비들의 가격산정은 Donald E. Garrett의 Chemical Engineering Economics, Appendix 1 Equipment Cost Estimates14)를 참조하였다.

4. 연구결과

4.1 정성적 위험성평가 결과

4.1.1 열처리 설비 HAZOP 결과

열처리 설비는 H-1이며, 가이드워드 별 변수를 적용한 결과, 압력이 낮을 때 위험도가 가장 높았다. 결과

는 <Table 7>와 같다.

4.1.2 불산 옥외저장탱크 HAZOP 결과

불산 옥외저장탱크는 T-1이며, 가이드워드 별 변수를 적용한 결과는 유량 Low일 때 위험도가 가장 높았으며 결과는 <Table 7>과 같다. 해당 Node의 설계의도는 화학물질을 옥외저장탱크에서 산세조로 이동시키는 것으로 설정하였다.

4.1.3 황산 옥외저장탱크 HAZOP 결과

황산 옥외 저장탱크는 T-2이며, 가이드워드 별 변수를 적용한 결과는 유량 Low 일 때 위험도가 가장 높

았으며 결과는 <Table 7>과 같다. 해당 Node의 설계의도는 화학물질을 옥외저장탱크에서 산세조로 이동시키는 것으로 설정하였다.

4.1.4 염산 옥외저장탱크 HAZOP 결과

염산 옥외 저장탱크는 T-3이며, 가이드워드 별 변수를 적용한 결과는 유량 Low 일 때 위험도가 가장 높았으며, 자세한 결과는 <Table 7>과 같다. 해당 Node의 설계의도는 화학물질을 옥외저장탱크에서 산세조로 이동시키는 것으로 설정하였다.

<Table 7> Results of HAZOP

	Node	D	C	Csq.	ES	Risk ranking			Rcmd.
						F	Csq.	R	
H-1	#1-1 #1-2 #1-3	Pressure Low	■ Gas leak	■ Risk of fire explosion	■ Entrance work ■ Soapy water testing ■ Install a pressure switch	2	4	8	N/A
T-1	#2-1 #2-2	Discharge Low	■ Internal damage ■ Facility damage	■ Risk of exposure accident	■ Inspection once a month ■ Transfer to wastewater treatment plant	2	4	8	N/A
T-2	#3-1 #3-2	Discharge Low	■ Internal damage ■ Facility damage	■ Risk of exposure accident	■ Inspection once a month ■ Transfer to wastewater treatment plant	2	4	8	N/A
T-3	#4-1 #4-2	Discharge Low	■ Internal damage ■ Facility damage	■ Risk of exposure accident	■ Inspection once a month ■ Transfer to wastewater treatment plant	2	4	8	N/A
Index					- D: Deviation - C: Cause - Csq.: Consequence - ES: Exiting Safeguard - F: Frequency - Csq.: Consequence - R: Ranking - Rcmd.: Recommendation				

4.2 강도 분석 결과

각 설비 별 HAZOP을 반영하여 e-CA를 이용한 강도 분석 결과, 열처리 설비의 증기운 폭발의 최악 시나리오 결과 과압 강도 70kPa, 20kPa, 6.9kPa의 영향범위는 각각 0m, 20m, 51m이며, 영향범위 6.9kPa 내 기계설비 4기, Fan 3기, 열처리 설비 1기가 손상될 것으로 되었다.

불산 저장탱크에서 누출 시 최악 시나리오 결과 50ppm, 20ppm, 2ppm의 영향범위는 각각 269 m, 452m, 1,961m이며, 영향범위 50ppm 내 대기방지시설 2기, 펌프 3기, Fan 1기, 저장탱크 1기, 기계설비 7기가 손상될 것으로 되었다.

황산 저장탱크에서 누출 시 최악 시나리오 결과 25ppm, 12,5ppm, 5ppm의 영향범위는 각각 0m, 0m,

2m이며, 주변 설비에 미치는 영향은 없고, 저장탱크만 손상될 것으로 되었다.

염산 저장탱크에서 누출 시 최악 시나리오 결과 150ppm, 20ppm, 3ppm의 영향범위는 각각 58 m, 166m, 478m이며, 영향범위 내 대기방지시설 1기, 펌프 3기, Fan 1기, 저장탱크 1기가 손상될 것으로 되었다. 공장 내부는 벽으로 차단되어 있기 때문에 제외하였다.

4.3 손실비용 산출

지역사회의 비상대응계획을 수립하는데 가장 보수적인 기준인 ERPG-3의 영향범위를 기준으로 범위로 설정하였고, 전체 17,850kg의 1/3이 누출되었다고 가정하였다.

영향범위 내의 설비 가격을 Donald E. Garrett의

Chemical Engineering Economics, Appendix 1 <Table 8>에 나타내었다.
Equipment Cost Estimates¹⁴⁾를 참고해 책정하여

<Table 8> Anticipated loss by each pool fire event

(unit:ten million won)

		Tank	Pump	Fan	Air protection facility	machine facility	Heating facility
Unit Cost		3	2	1	10	10	150
Thermomechanical	No. of equip.	-	-	3	-	4	1
	Time	-	-	3	-	40	150
	Sum	193					
Hydro fluoric acid	No. of equip.	1	3	1	2	7	-
	Time	3	6	1	20	70	-
	Sum	100					
Sulfuric acid	No. of equip.	1	-	-	-	-	-
	Time	3	-	-	-	-	-
	Sum	3					
Hydro chloric acid	No. of equip.	1	3	1	1	-	-
	Time	3	6	1	10	-	-
	Sum	20					

4.4 비용 분석

저장탱크는 20년 사용하면 누출이 발생한다고 가정하였고 열처리 설비도 20년 사용 시 노후화로 사고가 발생한다고 가정하였다.

열처리 기계설비 사고발생시 영향범위 6.9kPa 내 기계설비 4기, Fan 3기, 열처리 설비 1기가 손상되어 19억 3천만 원의 손실비용이 발생한다.

20년 주기로 저장탱크를 1기 교체할 경우 15억 원의 비용이 소비된다. 그러므로 열처리설비는 20년을 주기로 교체하는 것이 가장 이상적인 교체 주기라고 판단된다.

T-1 불산 저장탱크 사고발생 시 영향범위 50ppm 내 대기방지시설 2기, 펌프 3기, Fan 1기, 저장탱크 1기, 기계설비 7기가 손상되어 10억 원의 손실비용이 발생한다. 1년 주기로 저장탱크를 20기를 교체할 경우 6억 원의 비용이 소비된다.

그러므로 불산 저장탱크는 사고로 손실비용 10억 원을 낭비하는 것 보다 1년 주기로 교체하는 것이 이상적인 교체 주기라고 판단된다.

T-2 황산 저장탱크 사고발생 시 주변설비에 영향을 미치지 않고 저장탱크 자체만 손상되기 때문에 3천만 원의 손실비용이 발생한다. 20년 주기로 저장탱크를 1기 교체할 경우 3천만 원의 비용이 소비되므로 황산

저장탱크는 20년을 주기로 교체하는 것이 가장 이상적인 교체 주기라고 판단된다.

T-3 염산 저장탱크 사고발생 시 영향범위 150ppm 내 대기방지시설 1기, 펌프 3기, Fan 1기, 저장탱크 1기가 손상되어 2억 원의 손실비용이 발생한다. 5년 주기로 저장탱크를 4기 교체할 경우 1억 2천만 원의 비용이 소비된다. 그러므로 염산 저장탱크는 사고로 손실비용 2억 원을 낭비하는 것 보다 5년 주기로 교체하는 것이 이상적인 교체 주기라고 판단된다.

5. 결론

HAZOP 수행 결과 최고의 위험도는 열처리 설비는 압력High-위험도 12, 불산 저장탱크는 유량Low-위험도 8, 황산 저장탱크는 유량Low-위험도 8, 염산 저장탱크는 유량Low-위험도 8이다.

1. 열처리 설비, 불산 저장탱크, 황산 저장탱크, 염산 저장탱크의 사고발생 시 손실비용은 각각 19억 3천만 원, 10억 원, 손실비용은 3천만 원, 2억 원으로 예상되었다.

2. 열처리 설비를 20년 동안 1년 주기 교체 시 300억 원, 10년 주기 교체 시 30억 원, 20년 주기 교체 시 15억 원의 교체비용이 예상되었고, 저장탱크를 20

년 동안 1년 주기 교체 시 6억 원, 10년 주기 교체 시 6천만 원, 20년 주기 교체 시 3천만 원의 교체비용이 예상되었다.

3. 설비 및 탱크를 20년 사용 시 사고가 100% 발생한다고 가정하였을 때 적절한 교체주기는 열처리 설비의 경우 20년 주기로, 불산 저장탱크의 경우 1년 주기로, 황산 저장탱크의 경우 1년 주기로, 염산 저장탱크의 경우 5년 주기로 교체해야 이상적일 것으로 예상되었다.

본 연구에서는 사고대응에 대한 기준을 ERPG-3으로 가정하여, 영향범위 내 설비들이 과압에 의한 파손, 화학물질 누출에 의한 부식으로 인한 손실비용이 발생하였다. 현재 화학물질 누출로 인체에 미치는 영향의 연구는 독성물질로 집중되어 있다. 하지만 독성물질 누출뿐만 아니라 부식성물질 누출로도 피해가 발생하기 때문에 부식성물질에 대한 연구가 필요할 것으로 판단하였다.

6. References

- [1] National Museum of Korea Contemporary History, 2017, <http://www.much.go.kr/>.
- [2] Industry Skills Council, "Material Industry manpower Status Data Investigation and Analysis", 2017, pp.1~4.
- [3] Occupation Safety and Health Acts, 2017.
- [4] Enforcement Rule of The Chemicals Control Act, 2017.
- [5] Korea Occupational Safety&Health Agency, "Training of risk assessment experts", 2014.
- [6] Yun, C. S., "Criteria for emergency (leaking, accident) of chemicals", Korean Industrial Health Association, 2014.
- [7] Korea Occupational Safety&Health Agency, e-Consequence Analysis (e-CA), <http://nics.me.go.kr/>.
- [8] Center for Chemical Process Safety, "Guidelines for Initiating Events and Independent Protection Layers in Layer of Protection Analysis", 2015, pp.62~66.
- [9] Center for Chemical Process Safety, "Guidelines for Process Equipment Reliability Data with Data Tables".
- [10] Korea Occupational Safety&Health Agency, "Technical Guidelines for Minimizing Damage in Chemical Plants", 2012.
- [11] Choi, C. H., "A Study on the Improvement of RAT in Korea OCA : Domino Effects caused by Jet Fire", 2017.
- [12] Korea Occupational Safety&Health Agency, "Chnical Guidelines for Accident Damage Prediction", 2012, pp.9~14.
- [13] Copyrights Ministry of Environment, "Technical guidelines for selecting accident scenario", 2014, pp.2~6.
- [14] Donald E. Garrett, "Chemical Engineering Economics-Appendix 1 Equipment Cost Estimates", 1989, pp.256~306

저자 소개

권혁민



인천대학교 안전공학과 학사 취득. 인하대학교 대학원 환경안전 융합전공 석사 취득. 현재 LS메탈 근무 중
관심분야 : 위험성평가, 비용편익분석, 화학물질 관리 방안, 장외영향평가 등

천영우



현재 인하대학교 환경안전융합 대학원 교수로 근무
인천대학교 안전공학과 공학박사
관심분야 : 화학물질안전, 장외영향평가, QRA, Risk분석 등

황용우



현재 인하대학교 환경공학과 교수로 근무
관심분야 : 하폐수처리, 환경정과정평가(LCA), 장외영향평가, QRA 등

최영훈



인하대학교 대학원 환경안전 융합전공 석사 취득. 현재 켄토피아 근무 중
관심분야 : 화학사고 대응, 위험성평가, 화학물질안전, 화학물질 운송, 장외영향평가 등

이익모



현재 인하대학교 화학과 교수로 근무. The Ohio State Univ. 무기화학 박사
관심분야 : 무기화학, 연구실안전, QRA, 장외영향평가 등